

Apparatus for laser beam forming and guiding

Publication number: DE19751716

Publication date: 1998-05-28

Inventor: STURM VOLKER DR (NL)

Applicant: FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)

Classification:

- **International:** B23K26/06; G02B27/09; B23K26/06; G02B27/09;
(IPC1-7): G02B27/14; B23K26/02; G02B27/30

- **European:** B23K26/06; G02B27/09

Application number: DE19971051716 19971121

Priority number(s): DE19971051716 19971121; DE19961048789 19961125

Report a data error here

Abstract of DE19751716

The apparatus forms and guides the radiation from at least n straight-line laser diode arrays with radiation outlet openings in an x - z plane. The radiation is directed onto optical elements (1, 3, 6). There are m such elements stacked above one another in planes in the y direction to form a unit. The apparatus is characterised by the following: (a) there are at least $m = (n-1)$ optical elements ($n \geq 3$ and l is the integer part of the quotient n/k) whose deflection surfaces are oriented at an angle (8) to one another when projected onto a common x - z plane; (b) at least three laser diode arrays (9.1, 9.2, 9.3) stacked at successive levels in the y direction are joined into a unit of k laser diode arrays; and (c) the laser diode arrays, up to and including the $(k-1)$ th array, are provided with their own optical elements which deflect the radiation from these arrays into the common direction (13). The deflection surfaces are formed by the edges of the prism plates (1, 3). The prism plates take the form of a right-angled triangle in the x - z plane. The surfaces deflecting radiation take the form of reflective surfaces. The radiation from the k -th laser diode array passes through a rectangular plate (2). The optical elements are produced as a single block which is produced with cutouts for free spaces. Alternatively, they consist of one or more blocks. In such a case the radiation from the k -th laser diode array passes through a transmitting region without deflection. The deflection surfaces are oriented towards one another at an angle of about 90 deg.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 51 716 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 02 B 27/14
G 02 B 27/30
B 23 K 26/02

②① Aktenzeichen: 197 51 716.1
②② Anmeldetag: 21. 11. 97
④③ Offenlegungstag: 28. 5. 98

DE 197 51 716 A 1

⑥⑥ Innere Priorität:
196 48 789. 7 25. 11. 96

⑦① Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ Vertreter:
Grimm, E., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 63075 Offenbach

⑦② Erfinder:
Sturm, Volker, Dr., Bocholtz, NL

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Anordnung zur Formung und Führung von Strahlung

⑤⑦ Anordnung zur Formung und Führung von Strahlung von mindestens n geradlinigen Laserdiodenarrays, deren Strahlaustrittsöffnungen in einer in der x - z -Ebene liegenden Richtung verlaufen und deren Strahlenbündel mittels Abbildungsoptiken in der x - z -Ebene abgestrahlt werden und auf optische Elemente unter einem definierten Einstrahlwinkel geführt werden, wobei m optische Elemente in y -Richtung in Ebenen übereinander, eine Einheit bildend, gestapelt sind, wobei die x -, y - und z -Richtungen ein rechtwinkliges Koordinatensystem festlegen und n , m positive, ganze Zahlen sind, die dadurch gekennzeichnet ist, daß mindestens $m = (n - 1)$ der optischen Elemente vorgesehen sind, wobei $n \geq 3$ ist und l der ganzzahlige Teil des Quotienten n/k ist, deren Umlenkflächen, auf eine gemeinsame Ebene in der x - z -Ebene projiziert, unter einem Winkel zueinander orientiert sind, daß die mindestens drei in aufeinanderfolgenden Ebenen in y -Richtung gestapelten Laserdiodenarrays zu einer Einheit von k Laserdiodenarrays zusammengefaßt sind, wobei k eine positive, ganze Zahl ist und $3 \leq k \leq n$ gilt, und wobei dem ersten Laserdiodenarray der Einheit das erste optische Element zugeordnet ist, dem zweiten Laserdiodenarray das zweite optische Element der Einheit zugeordnet ist und fortfolgend bis dem $(k-1)$ -ten Laserdiodenarray das $(k-1)$ -te optische Element zugeordnet ist und die Elemente die Strahlen an den Umlenkflächen in eine im wesentlichen gemeinsame Abstrahlrichtung umlenken, und das k -te ...

DE 197 51 716 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anordnung zur Formung und Führung von Strahlung von mindestens n geradlinigen Laserdiodenarrays, deren Strahlaustrittsöffnungen in einer in der x - z -Ebene liegenden Richtung verlaufen und deren Strahlenbündel mittels Abbildungsoptiken in der x - z -Ebene abgestrahlt werden und auf optische Elemente unter einem definierten Einstrahlwinkel geführt werden, wobei m optische Elemente in y -Richtung in Ebenen übereinander, eine Einheit bildend, gestapelt sind, wobei die x -, y - und z -Richtungen ein rechtwinkliges Koordinatensystem festlegen und n , m positive, ganze Zahlen sind.

Eine Anordnung der vorstehend beschriebenen Art ist beispielsweise aus der DE-A1 44 38 368 bekannt.

Laserdioden, oder auch Halbleiterlaser genannt, werden in vielen Bereichen zunehmend eingesetzt, beispielsweise zum optischen Pumpen von Festkörperlasern oder zur Werkstoffbearbeitung. Die hierzu notwendigen Leistungen der Laserdioden erstrecken sich von einigen 100 W bis in den Kilowatt-Bereich. Um Laserdioden zu hohen Leistungen zu skalieren, wird eine Vielzahl von Laserdioden zu ein- oder zweidimensionalen Laserdiodenarrays bzw. -feldanordnungen zusammengefaßt, um die Laserleistungen der einzelnen Laserdioden zu addieren.

Hochleistungslaserdioden weisen eine stark asymmetrische Strahlverteilung auf. Bei Laserdiodenbarren (ein eindimensionales, lineares Laserdiodenarray) betragen beispielsweise die äußeren Abmessungen der emittierenden Apertur am Laseraustritt etwa $0,001 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ und die Strahldivergenz liegt bei etwa $(30^\circ \dots 50^\circ) \times 5^\circ$ (senkrecht \times parallel zur pn -Übergangsebene; angegeben ist der halbe Öffnungswinkel, definiert durch den $1/e^2$ -Abfall der Strahlungsintensität). Typische Abmessungen der Laserdiodenbarren sind $10 \text{ mm} \times 0,6 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm}$ (Breite \times Tiefe \times Höhe). Um die Strahlen der einzelnen Laserdioden des Laserdiodenarrays zu addieren, ist es von Vorteil, wenn die Strahlaustrittsöffnungen der einzelnen Laserdioden sehr dicht zueinander in einer Ebene liegen, so daß kompakte Anordnungen erzielt werden können. Ein begrenzender Faktor hierbei ist jedoch die ausreichende Kühlung der einzelnen Laserdioden oder Laserdiodenbarren, wozu sie auf geeigneten Wärmesenken montiert werden. Als Wärmesenken werden zum Beispiel Mikrokanalkühler aus Silizium oder aus Kupfer eingesetzt, die aktiv mittels Kühlfluid, das durch die Mikrokanalstruktur der Mikrokanalkühler geführt wird, gekühlt werden. Typische Abmessungen solcher Wärmesenken sind zum Beispiel eine Querschnittsfläche von ca. $12 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ (Breite \times Tiefe) und eine Höhe im Bereich von $1 \dots 10 \text{ mm}$. Dies bedeutet, daß die Höhe der Wärmesenke deutlich größer ist als die Höhe des montierten Laserdiodenbarrens.

Wie bereits vorstehend angeführt ist, ist eine bekannte Methode zur Strahladdition von Laserdiodenbarren die lineare Stapelanordnung. Dazu werden die Laserdioden, die jeweils auf einer Wärmesenke montiert sind, übereinander angeordnet, so daß die pn -Übergangsebenen der einzelnen Laserdioden möglichst parallel zueinander ausgerichtet sind. Solche linearen Stapelanordnungen werden beispielsweise zum optischen Pumpen von quaderförmigen Lasermedien in sogenannten Stablaserkonfigurationen eingesetzt. Dabei wird das Pumplicht großflächig durch die Seitenflächen des Lasermediums eingestrahlt. Eine starke Bündelung der Strahlung ist daher nicht notwendig. Eine Bündelung der Strahlung ist aber dann notwendig, wenn hohe Strahldichten (Strahlungsleistung pro Fläche und Raumwinkel, $\text{W}/\text{m}^2\text{sr}$) und/oder eine geringe Querschnittsfläche der Einstrahlung gefordert sind. Dazu ist eine Strahlformung der Laserdio-

denstrahlung notwendig. Für diese Strahlformung wird vor jedem Laserdiodenbarren eine zylindrische Kollimationsoptik montiert, die die Strahlung in der stark divergenten Richtung kollimiert. Um eine möglichst hohe Packungsdichte zu erreichen, müssen die Wärmesenken mit montierten Laserdioden und die Kollimationsoptik eine sehr geringe Höhe aufweisen und sehr dicht übereinander gepackt werden. Mit abnehmender Höhe und damit Größe der Wärmesenken verringert sich jedoch deren Kühlleistung und der notwendige Fertigungsaufwand erhöht sich. Falls die Kühlleistung nicht ausreichend ist, kann dies zu einem Verzug der Auflagefläche führen, was sich in ungünstiger Weise auf den montierten Laserdioden überträgt und dann zu Fehljustierungen führen kann. Daher ist die Anforderung einer hohen Packungsdichte der Laserdiodenbarren zu der Anforderung eines optimierten Aufbaus der Wärmesenke gegenläufig.

Eine weitere Anforderung, um mittels einzelner Laserdiodenbarren Laserdioden zu höheren Leistungsdichten zu skalieren, ist diejenige, daß übereinander angeordnete Strahlenbündel, die von den Laserdioden abgegeben werden, möglichst geringe Zwischenabstände aufweisen. Das bedeutet, daß die zylindrischen Kollimationselemente sehr dicht übereinander angeordnet werden müssen, wobei gleichzeitig noch eine sehr präzise Justierung erforderlich ist. Dies verringert die zulässigen Toleranzen für die Linsenabmessung und führt bei gegebenen Fertigungstoleranzen dazu, daß nach einer gewissen Anzahl von übereinander angeordneten Laserdioden eine Justierung der Kollimationselemente nicht mehr möglich ist. Dadurch wird bei gegebenem Zwischenabstand die Zahl der Laserdioden und die maximale Strahlungsleistung der Stapelanordnung begrenzt. Außerdem muß die Kollimationsoptik bis zum Rand hin genutzt und ausgeleuchtet werden. Dabei müssen die im Randbereich der Kollimationsoptik beeinträchtigte optische Qualität sowie unerwünschte Beugungseffekte an der scharf begrenzten Linsenapertur in Kauf genommen werden.

Ein weiterer Nachteil dieser Stapelanordnung, wie sie vorstehend angegeben ist, ist die unsymmetrische Strahlverteilung. Bei einem angenommenen Abstand der Laserdioden von nur 2 mm ergibt sich bei 100 Laserdioden eine emittierende Apertur von etwa $10 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$. Dies erfordert für eine weitere Strahlformung vergleichsweise große Durchmesser der optischen Elemente, wie zum Beispiel Linsen, und ist dadurch mit vergleichsweise hohen Abbildungsfehlern und Kosten verbunden.

Weiterhin ist aus der DE-A1 43 12 911 eine Vorrichtung zur Aufteilung eines Laserstrahls hoher Leistung in zwei oder vier Einzelstrahlen bekannt. Die Lichtstrahlen liegen in einer gemeinsamen Ebene und schließen einen Winkel von 90° zueinander ein.

Ausgehend von dem eingangs beschriebenen Stand der Technik sowie der vorstehend angegebenen Problematik der Strahladdition einzelner Laserdioden liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zur Formung und Führung von Strahlung von mindestens n -geradlinigen Laserdiodenarrays bzw. Laserdiodenbarren zu schaffen, die kompakt auf eng begrenztem Raum aufgebaut werden kann, ohne dadurch die Kühleffektivität der Gesamtanordnung zu beeinträchtigen, und die die weiteren, vorstehend anhand des Standes der Technik aufgezeigten Probleme weitgehendst vermeidet.

Die vorstehende Aufgabe wird bei einer Anordnung mit den Merkmalen, wie sie eingangs aufgeführt sind, dadurch gelöst, daß mindestens m : ($n - 1$) der optischen Elemente vorgesehen sind, wobei $n \geq 3$ ist und 1 der ganzzahlige Teil des Quotienten n/k ist, deren Umlenktflächen, auf eine gemeinsame Ebene in der x - z -Ebene projiziert, unter einem Winkel zueinander orientiert sind, daß die mindestens drei

in aufeinanderfolgenden Ebenen in y-Richtung gestapelten Laserdiodenarrays zu einer Einheit von k Laserdiodenarrays zusammengefaßt sind, wobei k eine positive, ganze Zahl ist und $3 \leq k \leq n$ gilt, und wobei dem ersten Laserdiodenarray der Einheit das erste optische Element zugeordnet ist, dem zweiten Laserdiodenarray das zweite optische Element der Einheit zugeordnet ist und fortfolgend, bis dem (k-1)-ten Laserdiodenarray das (k-1)-te optische Element zugeordnet ist und die Elemente die Strahlen an den Umlenkflächen in eine im wesentlichen gemeinsame Abstrahlrichtung umlenken, und das k-te Laserdiodenarray direkt oder durch ein weiteres optisches Element umlenkungsfrei in der Abstrahlrichtung abstrahlt, so daß die Strahlenanteile, zumindest in einer Abbildungsebene, zu einer im wesentlichen gemeinsamen Abstrahlrichtung zusammengefaßt werden, und daß sich die Folge der Ebenen in Bezug auf die Anordnung der jeweiligen Laserdiodenarrays und deren zugeordneten jeweiligen optischen Elemente in y-Richtung oberhalb und/oder unterhalb der Einheit bei mehr als k Ebenen entsprechend der Folge der Ebenen der Einheit wiederholt.

Die erfindungsgemäße Anordnung hat den Vorteil, daß die Laserdiodenarrays wechselweise in Ebenen übereinander so angeordnet werden, daß ausreichend Raum verbleibt, um die jeweiligen Kühlkörper sowie die Abbildungsoptiken derart anzuordnen, daß sich diese Bauteile in den unmittelbar übereinander benachbarten Ebenen nicht störend beeinflussen, da in Projektion aufeinander, senkrecht zu den Ebenen gesehen, nur in jeder k-ten Ebene eine der ersten Ebenen entsprechende Orientierung des jeweiligen Laserdiodenarrays wiederholt wird. Dadurch verbleibt ein ausreichender Freiraum, um die Kühlkörper, die den Laserdiodenarrays jeweils zugeordnet sind, groß genug zu dimensionieren, um eine effektive Kühlung zu erzielen. Darüberhinaus ist für die Kollimationsoptiken ausreichender Raum, um sie groß genug zu dimensionieren, so daß die Randzonen nicht genutzt werden müssen und Abbildungsfehler, wie sie vorstehend im Rahmen der Diskussion zum Stand der Technik erläutert sind, vermieden werden können. Über die jeweiligen optischen Elemente bzw. Umlenkflächen, die den Laserdiodenarrays jeweils zugeordnet sind, wird das jeweilige Strahlenbündel in eine Richtung umgelenkt, die im wesentlichen einer Richtung entspricht, in die ein Laserdiodenarray der Einheit aus mindestens drei Laserdiodenarrays direkt abstrahlt. Dies bedeutet, daß in einer Einheit, die aus k Ebenen besteht, wobei jeder Ebene jeweils ein Laserdiodenarray zugeordnet ist, eines dieser Laserdiodenarrays direkt abstrahlt, ohne eine Strahlsumlenkung, während die Strahlung der (k-1) anderen Laserdiodenarrays in diese Abstrahlrichtung umgelenkt wird. Um eine solche Grundeinheit, bestehend aus k Laserdiodenarrays, angeordnet in k Ebenen, mit einem weiteren Laserdiodenarray in einer zusätzlichen Ebene zu erweitern, wird die Reihenfolge eingehalten, die der Reihenfolge in dieser Einheit, bestehend aus den k Ebenen, entspricht, so daß das Laserdiodenarray dieser zusätzlichen Ebene, in einer Projektion senkrecht zu den jeweiligen Ebenen gesehen, in einem Bereich positioniert ist, der der k-ten Ebene darüber oder darunter, je nachdem, auf welcher Seite diese zusätzliche Ebene hinzugefügt ist, entspricht. Es ist ersichtlich, daß die Laserdiodenarrays der einzelnen Ebenen dann, wenn die Grundeinheit aus k solcher Ebenen aufgebaut ist, an k unterschiedlichen Stellen der jeweiligen Ebenen angeordnet sind, beispielsweise, ausgehend von einer quadratischen oder rechteckigen Geometrie, an drei Seiten dieses fiktiven Quadrats oder Rechtecks, während in Richtung der vierten Seite abgestrahlt wird. Es sind andere Einheiten basierend auf diesem erfindungsgemäßen Prinzip möglich, die von einer Anordnungsgeometrie der Laserdiodenarrays in Form eines Vielecks mit mehr als vier Seiten

ausgehen, wobei wechselweise den einzelnen Seiten eines solchen Vielecks jeweils in übereinanderliegenden Ebenen abwechselnd ein Laserdiodenarray zugeordnet ist, bis jeweils alle Seiten, abgesehen von einer Seite, in die abgestrahlt wird, ein solches Laserdiodenarray zugeordnet ist und sich die Folge beginnend mit dem Laserdiodenarray der ersten Ebene wiederholt.

Basierend auf dem Prinzip, wie es vorstehend erläutert ist, ist eine bevorzugte Möglichkeit, um die Strahlungsanteile in den jeweiligen Ebenen umzulenken, und zwar unter Beibehaltung eines kompakten Aufbaus der Anordnung dadurch gegeben, daß die Umlenkflächen durch Kanten von Prismenplatten gebildet werden. In diese Platten wird die Strahlung von einer Seitenkante eingestellt und an verspiegelten Flächenkanten umgelenkt. Die die Strahlung umlenkenden Flächen können aber auch durch verspiegelte Flächen anderer Körper, vorzugsweise plattenförmige Teile, gebildet werden. Solche Prismenplatten weisen in einer bevorzugten Ausbildung in den x-z-Ebenen jeweils die Form eines rechtwinkligen Dreiecks auf. Diese Prismenplatten werden dann in einer weiteren vorteilhaften Anordnung in den Ebenen übereinander jeweils mit ihrer Umlenkfläche so orientiert, daß die Umlenkflächen, in y-Richtung, d. h. senkrecht zu den jeweiligen Ebenen, gesehen, unter einem Winkel von etwa 90° zueinander orientiert sind. In einem solchen Fall wird dann von zwei gegenüberliegenden Seiten, betrachtet man alle Ebenen in Projektion aufeinander, eingestrahlt, während von der dritten Seite, die dann unter einem Winkel von 90° zu diesen beiden Seiten liegt, die Strahlung desjenigen Laserdiodenarrays abgestrahlt wird, dessen Strahlung im wesentlichen nicht umgelenkt wird. In diese Strahlrichtung wird dann die Strahlung der Laserdiodenarrays in der darunter- oder darüberliegenden Ebene durch die Umlenkflächen umgelenkt.

Eine analoge Anordnung zu derjenigen, wie sie vorstehend erläutert ist, ergibt sich durch die Verwendung von Spiegelflächen, die die Strahlenanteile jeweils umlenken. Solche verspiegelten Flächen können auf jeweilige Formkörper aufgebracht werden, beispielsweise auf eine Kante eines plattenförmigen Formkörpers, wodurch sich eine einfache Justierung ergibt. Die Strahlung des dritten Laserdiodenarrays, im Fall von drei Ebenen, in denen die Laserdiodenarrays angeordnet sind, wird durch einen Freiraum nur kollimiert hindurchgeführt. Eine weitere Maßnahme, die eine Justierung erleichtert, ist auch dann möglich, wenn in diesen Freiraum eine Rechteckplatte angeordnet wird, die gleichzeitig als Anlagefläche für die vorzugsweise plattenförmigen Umlenkelemente in der darüber- und der darunterliegenden Ebene dient, durch die die Strahlung ohne wesentliche Beeinflussung des Strahlenverlaufs, hindurchgeführt wird.

Um einen Justieraufwand der Anordnung weiterhin auf ein Minimum zu reduzieren, können die optischen Elemente aus einem Block oder aus Blöcken gebildet sein, wobei dann die jeweiligen Freiräume, durch die Laserdiodenstrahlung umlenkungsfrei hindurchgeführt wird, durch entsprechende Aussparungen, beispielsweise Schlitze oder sonstige Einschnitte in dem Block, gebildet werden, während die Umlenkflächen verspiegelte Flächen des Blocks oder der Blöcke sind.

Weitere Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von drei Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung.

Die drei Ausführungsformen, wie sie in der Zeichnung dargestellt sind, dienen dazu, verschiedene Grundprinzipien sowie Grundaufbauten der Erfindung zu erläutern.

In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht einer ersten Aus-

führungsform der Anordnung zur Formung und Führung der Strahlung einer Vielzahl von Laserdiodenarrays unter Verwendung von Prismenplatten und Rechteckplatten in den einzelnen Ebenen, und zwar aus Sicht des Sichtfelds II in Fig. 2,

Fig. 2 eine Draufsicht auf die Anordnung der Fig. 1 aus Sicht des Sichtfelds I in Fig. 1,

Fig. 3 eine Draufsicht auf eine Anordnung gemäß einer zweiten Ausführungsform, die anstelle einzelner Prismenplatten jeweils Prismen, die aus einem Block hergestellt sind, verwendet,

Fig. 4 eine Draufsicht auf die Umlenkfläche der Prismen der Fig. 3 aus Sicht des Sichtfelds IV in Fig. 3,

Fig. 5 eine Draufsicht auf eine Anordnung gemäß einer dritten Ausführungsform, die einen einzelnen Prismenblock einsetzt, mit verspiegelten Umlenkflächen und Freiräumen bzw. Schlitzten, und

Fig. 6 eine schematische Ansicht auf den Prismenblock der Fig. 5 aus Sicht des Sichtfelds VI in Fig. 5.

Zunächst wird die erste Ausführungsform einer Anordnung zur Formung und Führung von Strahlung von geradlinigen Laserdiodenarrays beschrieben. Die Anordnung, wie sie in Fig. 1 schematisch dargestellt ist, ist entgegen der austretenden Laserstrahlung 4 (siehe Fig. 2) gesehen, dargestellt, d. h. aus Richtung des Sichtfelds II in Fig. 2.

Die Grundeinheit, aus der die Anordnung, wie sie in den Fig. 1 und 2 dargestellt ist, aufgebaut ist, umfaßt eine erste Prismenplatte 1, eine Rechteckplatte 2 und eine zweite Prismenplatte 3. Die jeweiligen Platten 1, 2 und 3 sind in einer x-z-Ebene orientiert und in der y-Richtung übereinander gestapelt, wie durch die jeweiligen Koordinaten-Achsen x, y und z in Fig. 1 und Fig. 2 angegeben ist. Die Rechteckplatte 2 besitzt eine quadratische Form, wie in Fig. 2 zu erkennen ist, wogegen die beiden dreieckförmigen Prismenplatten 1 und 3 die Form eines rechtwinkligen, gleichschenkligen Dreiecks in der Draufsicht besitzen. Die Längen der Katheten-Seiten 5 dieser Prismenplatten 1, 3 entsprechen im wesentlichen der Kantenlänge der quadratischen Rechteckplatte 2. Die jeweiligen Hypothenusen-Seiten 7 der ersten Prismenplatte 1 und der zweiten Prismenplatte 3 jeder Einheit sind verspiegelt und bilden Reflexions- oder Umlenkflächen 6, die, in Projektion in y-Richtung aufeinander, unter einem Winkel 8 von 90° zueinander orientiert sind. Die Rechteckplatte 2 besteht aus einem für die Wellenlänge der Laserstrahlung transparenten Material, wie zum Beispiel Glas im sichtbaren Wellenlängenbereich oder im nahen Infrarotbereich. Alternativ kann die Rechteckplatte 2 durch einen Freiraum und Distanzelemente, die außerhalb des durchstrahlten Freiraums angeordnet sind, ersetzt werden.

Wie eine gemeinsame Betrachtung der Fig. 1 und 2 verdeutlicht, ist jeder Prismenplatte 1, 3 und jeder Rechteckplatte 2 jeweils ein lineares Laserdiodenarray 9.1, 9.2 und 9.3 mit einer Erstreckung in der x-z-Ebene zugeordnet. Die Laserdiodenarrays 9.1, 9.2 und 9.3 sind jeweils auf einem Kühlkörper 10 montiert. Weiterhin ist jedem Laserdiodenarray 9.1, 9.2 und 9.3 eine Kollimationsoptik 11, und zwar in den Ausführungsformen, wie sie in den Figuren gezeigt sind, in Form einer Zylinderlinse, zugeordnet, um die Laserdiodenstrahlungen, weitgehend kollimiert, auf die Umlenkflächen 6 der jeweils gegenüberliegenden Prismenplatte 1, 3 zu führen.

Wie unter gemeinsamer Betrachtung der Fig. 1 und 2 deutlich wird, sind die jeweiligen Laserdiodenarrays 9.1, 9.2 und 9.3 den Umlenkflächen 6 der ersten Prismenplatte 1 der Stirnfläche 12, der Rechteckplatte 2 und der Umlenkfläche 6 der zweiten Prismenplatte 3, die eine Einheit darstellen, zugeordnet und der Reihe nach um die drei Seiten verteilt. An diese Einheit anschließend wiederholt sich diese Folge der

Zuordnung der jeweiligen Laserdiodenarrays 9.1, 9.2 und 9.3 der ersten Prismenplatte 1, der Rechteckplatte 2 und der zweiten Prismenplatte 3 in den darauffolgenden Ebenen. Durch diese wechselweise Zuordnung der Laserdiodenarrays 9.1, 9.2 und 9.3 kann die Beabstandung benachbarter Kühlkörper 10, in Fig. 1 mit h_{DL} angegeben, entsprechend der dreifachen Bauhöhe h_{PB} , in y-Richtung gesehen, der jeweiligen Prismen und Rechteckplatten 1, 2 und 3 eingesetzt werden, ohne daß sich diese Kühlkörper 10 gegenseitig stören. Es wird somit der gesamte, zur Verfügung stehende Raum um die Anordnung herum in Bezug auf die drei Seiten der quadratischen bzw. rechteckigen projizierten Grundfläche ausgenutzt.

Der Strahlverlauf ergibt sich so, wie in Fig. 2 angedeutet. Die Strahlung des Laserdiodenarrays 9.1 der untersten Ebene, d. h. das rechte, untere Laserdiodenarray 9.1 in Fig. 1, wird auf die Hypothenusenseite 7, die als verspiegelte Umlenkfläche 6 dient, der gegenüberliegenden ersten Prismenplatte 1 gerichtet und um 90° umgelenkt, so daß die Strahlenbündel 4 in die Hauptabstrahlrichtung, mit dem Pfeil 13 angedeutet, umgelenkt werden. In der in y-Richtung gesehenen darüberliegenden Ebene ist das nächste Laserdiodenarray 9.2 angeordnet, das in die Stirnseite 12 der Rechteckplatte 2 einstrahlt, wobei die Laserstrahlung aus der gegenüberliegenden Stirnseite 14 austritt, d. h. die Laserstrahlung dieses Laserdiodenarrays wird ablenkungsfrei unmittelbar in der Richtung der Hauptabstrahlrichtung 13 abgegeben. In der nächsten, darüberliegenden Ebene ist das in Fig. 2 linke Laserdiodenarray 9.3 positioniert, das auf die Hypothenusenseite 7 der zweiten Prismenplatte 3 strahlt. Entsprechend der ersten Prismenplatte 1 wird diese Strahlung an der verspiegelten Fläche bzw. der Umlenkfläche 6 aufgrund des Einfallwinkels von 45° in Richtung der Hauptabstrahlrichtung 13, d. h. um 90°, umgelenkt. In Bezug auf die nächste Ebene, die oberhalb der zweiten Prismenplatte 3 liegt, wird die Folge der Anordnung der ersten Prismenplatte 1, der Rechteckplatte 2 sowie der zweiten Prismenplatte 3 jeweils wiederholt, so daß ein aus Richtung des Sichtfelds II in Fig. 2 gesehener Aufbau erzielt wird, wie er in der Fig. 1 dargestellt ist. Die gesamte Strahlung 4 kann durch die zusätzliche Linse 27 weitgehend geformt, z. B. kollimiert, werden.

Aufgrund der Kollimationsoptik 11, die jedem Laserdiodenarray 9.1, 9.2, 9.3 zugeordnet ist, kann die Strahlung der einzelnen Laserdiodenarrays, die in der y-Richtung stark divergent ist, nahezu parallel auf die Umlenkflächen 6 gestrahlt werden, so daß den Deckflächen der jeweils darüber- und darunterliegenden Elemente keine wesentliche Funktion bei der Strahlführung zukommt. Falls die Divergenz der Laserstrahlung nach der Abbildungsoptik 11 noch so groß ist, daß die Deckflächen von der Strahlung getroffen werden, können die Deckflächen auch zur zusätzlichen Strahlführung dienen. Je nach Ausführung können die Plattenelemente auch als Montageanschlag oder als Auflagefläche für die Kühlkörper 10 der Laserdiodenarrays 9 oder für die Abbildungsoptik verwendet werden, wozu sie entsprechend verlängert und profiliert werden können.

Da die Prismenplatten 1, 3 und die Rechteckplatte 2 untereinander jeweils gleiche Abmessungen bzw. Kantenlängen aufweisen, können mehrere dieser Anordnungen gemeinsam bearbeitet werden, wie beispielsweise durch optisches Polieren der Prismenkanten bzw. der Umlenkflächen. Beim Aufbau des Plattenstapels können in den Ebenen der Prismenplatten geeignete Abstandselemente, die nicht dargestellt sind, eingefügt werden, die dann als Auflage für die darüber- oder darunterliegende Platte dienen. Beispielsweise können zwei Prismenplatten auch mit der Prismenkante aneinander gekittet werden, wobei dann eine Platte als diejenige Prismenplatte dient, die die Umlenkfläche 6 auf-

weist, während die andere Prismenplatte als Abstandselement verwendet wird. In dieser Anordnung wird, im Gegensatz zu den Anordnungen der Fig. 1 und 2, in die eine Prismenplatte jeweils seitlich eingestrahlt und die Strahlung in dieser Prismenplatte bis zu der entsprechenden Umlenkfläche geführt. Hierbei könnte durch eine geeignete dünne Beschichtung der Deckflächen der Plattenelemente, zum Beispiel mit einem Medium mit einem niedrigeren Brechungsindex als der des Plattenmediums, vermieden werden, daß Strahlung in die benachbarten Plattenelemente eindringt.

Die Rechteckplatten 2, wie sie vorstehend anhand der Ausführungsform der Fig. 1 und 2 erläutert sind, können entfallen, wenn in anderer Weise die parallele Ausrichtung durch geeignete Abstandselemente zwischen den Prismenplatten 1, 2 gewährleistet werden kann. In einem solchen Fall wäre, anstelle der Rechteckplatte 2, ein Freiraum bzw. Zwischenraum belassen, den die Laserstrahlung des dieser Ebene zugeordneten Laserdiodenarrays, beispielsweise des Laserdiodenarrays 9.2, im Umgebungsmedium (z. B. Luft) durchläuft, ohne daß in diesem Strahlungsbereich ein weiteres optisches Element angeordnet werden müßte.

In einer weiteren, zweiten Ausführungsform, die in den Fig. 3 und 4 dargestellt ist, kann anstelle eines Stapels aus den einzelnen Prismenplatten 1, 3 sowie gegebenenfalls der Rechteckplatte 2 ein einzelnes Prisma 15 verwendet werden, in dem Fall der Fig. 3 ein rechtwinkliges Prisma mit zwei gleich langen Katheten 16, 17. Die Katheten 16, 17 sind in Bezug auf die einzelnen Ebenen in abwechselnder Folge antireflektierend (in Fig. 4 mit AR bezeichnet bzw. unschraffiert dargestellt) und hochreflektierend (in den Figuren mit HR bezeichnet schraffiert dargestellt) beschichtet sind.

Die Hypothenusenseite 18 der einzelnen Prismenplatten 15 sind in allen Ebenen antireflektierend (AR) beschichtet. Einkoppel-Prismenplatten 19 und 20, die den Kathetenseiten 16 und 17 des einzelnen Prismas 15 jeweils zugeordnet sind, dienen dazu, die Strahlung des jeweiligen Laserdiodenarrays 29.2 und 29.1 ohne Strahlablenkung in das Prisma 15 einzukoppeln. Der Strahlenverlauf dieser Anordnung nach den Fig. 3 und 4 in Bezug auf die Laserdiodenarrays 29.1, 29.2 und 29.3 ist wie folgt. Die Strahlung des in Fig. 3 oberen Laserdiodenarrays 29.1 durchläuft zunächst die Einkoppel-Prismenplatten 20 ablenkungsfrei, tritt dann durch einen antireflektierend beschichteten Streifen der Kathetenseite 16 des Prismas 15 ein und wird durch einen hochreflektierend beschichteten Streifen der gegenüberliegenden Kathetenseite 17 zu der Hypothenusenseite 18 hin umgelenkt, wo die Laserstrahlung 4 austritt. Die Strahlung des zweiten Laserdiodenstapels 29.2, der in Fig. 3 unten links dargestellt ist, der in der nächsten, folgenden Ebene angeordnet ist, durchläuft zunächst das Einkoppel-Prisma 19 und tritt dann in die antireflektierend beschichtete Kathetenseite 17 ein, und durchläuft das Prisma 15 ohne Umlenkung, so daß die Strahlung aus der Hypothenusenseite 18 austritt. Die Strahlung des dritten Laserdiodenarrays 29.3, das in Fig. 3 der Hypothenusenseite 18 des Prismas 15 zugeordnet ist, das in der Ebene angeordnet ist, die der Ebene mit dem oberen Prisma 10 entspricht, folgt, tritt in die Hypothenusenseite 18 des Prismas 15 dieser Ebene ein, wird dann an der hochreflektierend beschichteten Kathetenseite 16 dieses Prismas 15 umgelenkt, so daß sie auf die zweite Kathetenseite 17 auftrifft, die ebenfalls hochreflektierend beschichtet ist, so daß die Strahlung dann wieder zu der Hypothenusenseite 18 hin gerichtet wird und dort in der Hauptstrahlrichtung austritt.

Die Folge der Anordnung der einzelnen Laserdiodenarrays 29.1, 29.2 und 29.3 in Bezug auf die einzelnen Ebenen und die entsprechende Beschichtung der Kathetenseiten 16, 17 sowie der Hypothenusenseite 18 des Prismas 15 jeder

Ebene wird so wiederholt, wie dies vorstehend erläutert ist, und in Fig. 4 gezeigt ist, wobei sich die Ebenenfolge der Grundeinheit in der y-Richtung wiederholt. Vorteilhaft bei dieser Ausführungsform ist die erhöhte Stabilität und die einfache Herstellung der Prismen, die größere Abmessungen aufweisen im Vergleich zu den einzelnen Prismenplatten, die anhand der Ausführungsform der Fig. 1 und 2 erläutert wurden, da aufgrund der sich wiederholenden Beschichtungsart, und zwar hochreflektierend, die Prismenplatten zweier benachbarter Ebenen zusammengefaßt werden können. Es kann aber auch ein einzelner Prismenblock gefertigt werden, der eine Erstreckung in der y-Richtung besitzt, die der Gesamthöhe aller Ebenen des Stapels entspricht, wobei dann die einzelnen Kathetenseiten 16, 17 sowie die Hypothenusenseite 18 so beschichtet werden, wie dies in Fig. 4 dargestellt ist.

Eine dritte Ausführungsform ist in den Fig. 5 und 6 dargestellt. Diese Anordnung entspricht prinzipiell derjenigen Anordnung, die in den Fig. 3 und 4 dargestellt ist, allerdings sind die einzelnen Prismen 15, 19 und 20 durch einen Prismenblock 21 ersetzt, der in seiner Geometrie den beiden weiteren Prismen 19 und 20 der Fig. 3 entspricht. Als Umlenkflächen dienen die jeweiligen lange Seiten, d. h. die Hypothenusenseiten 22, 23, der Teilprismenblöcke 24, 25 des Prismenblocks 21. Diese Hypothenusenseiten 22, 23 sind hochreflektierend (HR, schraffiert in Fig. 6 dargestellt) ausgebildet. An den Stellen, an denen die Laserdiodenstrahlung der entsprechenden Ebene ablenkungsfrei eingestrahlt wird, sind wiederum Freiräume bzw. Aussparungen 26 belassen (unschraffiert dargestellt), wie die Fig. 6 zeigt. Jede Einheit ist aus drei Laserdiodenarrays 39.1, 39.2 und 39.3 aufgebaut, die jeweils in einer von drei aufeinanderfolgenden Ebenen (x-z-Ebene) orientiert sind. In der ersten Ebene, beispielsweise beginnend mit dem Laserdiodenarray 39.2 in Fig. 5 unten links, ist ein Freiraum 26 vorhanden, so daß die Strahlung durch diesen Freiraum 26 direkt in die Hauptstrahlrichtung 13 gerichtet wird. In der nächsten Ebene, der das Laserdiodenarray 39.1 an der oberen Kante des Teilprismenblocks 25 zugeordnet ist, führt ebenfalls durch einen Freiraum 26 hindurch, trifft dann auf die verspiegelte Hypothenusenseite 22 des Teilprismenblocks 24 und wird dort, unter einem Winkel von 45° einfallend, in die Hauptstrahlrichtung 13 umgelenkt. In der darauffolgenden Ebene befindet sich dann das Laserdiodenarray 39.3, das in Fig. 5 an der rechten Seite der Anordnung zu sehen ist, dessen Strahlung dann auf die verspiegelte Fläche bzw. Hypothenusenseite 23 des Teilprismenblocks 25 fällt, von dort auf die Hypothenusenseite 22 des unteren Teilprismenblocks 24 umgelenkt wird, wo sie dann wiederum in die Hauptstrahlrichtung 13 umgelenkt wird. Die Reihenfolge der Ebenen wiederholt sich entsprechend der vorstehend beschriebenen Reihenfolge der Einheit in Bezug auf die einzelnen Ebenen, die sich oben oder unten in y-Richtung anschließen.

Demzufolge können die Kühlkörper 10 bzw. die darauf montierten Laserdiodenarrays 39.1, 39.2 und 39.3 so gestapelt und damit dimensioniert werden, wie dies im Rahmen der ersten Ausführungsform anhand der Fig. 1 erläutert wurde.

Durch die vorstehend beschriebenen Anordnungen kann der Abstand der Laserdioden, in Fig. 1 mit h_{DL} bezeichnet und damit die Höhe der Wärmesenken größer gewählt werden als bei einer linearen Stapelanordnung, bei der die einzelnen Laserdiodenarrays 9 alle in einer gleichbleibenden Orientierung in Bezug auf die x-z-Ebene angeordnet sind. Dies ermöglicht die Verwendung von Wärmesenken mit besseren mechanischen und Kühlungseigenschaften sowie eine einfacheren Fertigung und Montage. Außerdem können die Laserdiodenstapel mit höherer Positioniergenauigkeit

der Laserdioden aufgebaut werden, und zwar im Vergleich zur linearen Stapelanordnung. Die Prismen- und Rechteckplatten können sehr dicht übereinander mit geringem Abstand a (siehe Fig. 1) angeordnet werden. Dadurch verringern sich die Lücken in der Strahlenverteilung in einer Abbildungsebene, wo die Strahlung 4, in Richtung der Hauptabstrahlrichtung 13 gesehen, zusammengeführt sind. Die zulässigen Toleranzen für die Abmessung der Abbildungsoptik verringern sich, da sich deren Abstand zueinander in einem Laserdiodenstapel etwa um den Faktor 3, entsprechend dem Anteil der Ebenen einer Einheit, vergrößert.

Der Ausgangsstrahl der Gesamtanordnung weist durch die spezielle Strahladdition, neben der höheren Strahlungsleistung, zusätzlich auch eine höhere Symmetrie auf im Vergleich zu der stark unsymmetrischen Strahlverteilung der einzelnen Laserdioden oder auch im Vergleich zu der Strahlverteilung linearer Stapelanordnungen. Dies ist vorteilhaft für Anwendungen, die eine weitgehend symmetrische Geometrie aufweisen. Beispiele sind der Einsatz der Laserdiodenstrahlung zum optischen Pumpen von Festkörperlasern, insbesondere das longitudinale Pumpen entlang der Laserstrahlachse und für Anwendungen in der Werkstoffbearbeitung. Die Anpassung der Strahlverteilung ermöglicht zum Beispiel beim optischen Pumpen einen höheren Wirkungsgrad der Laserstrahlerzeugung oder bei der Werkstoffbearbeitung eine höhere Effizienz der eingesetzten Laserleistung.

Die höhere Strahlsymmetrie ist auch von Vorteil bei einer weiteren Strahlformung die dann durch einfachere rotationsymmetrische Elemente (zum Beispiel standardmäßige Linsen) erfolgen kann. Im Fall der linearen Stapelanordnung sind bei rotationssymmetrischen Elementen größere Elementdurchmesser (zum Beispiel Linsendurchmesser) erforderlich, die zu größeren Abbildungsfehlern führen und höhere Kosten verursachen.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Formung und Führung von Strahlung von mindestens n geradlinigen Laserdiodenarrays, deren Strahlaustrittsöffnungen in einer in der x-z-Ebene liegenden Richtung verlaufen und deren Strahlenbündel mittels Abbildungsoptiken in der x-z-Ebene abgestrahlt werden und auf optische Elemente unter einem definierten Einstrahlwinkel geführt werden, wobei m optische Elemente in y-Richtung in Ebenen übereinander, eine Einheit bildend, gestapelt sind, wobei die x-, y- und z-Richtungen ein rechtwinkliges Koordinatensystem festlegen und n, m positive, ganze Zahlen sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens $m = (n - 1)$ der optischen Elemente (1, 3, 6; 15, 16, 17; 22, 23, 24, 25) vorgesehen sind, wobei $n \geq 3$ ist und l der ganzzahlige Teil des Quotienten n/k ist, deren Umlenkflächen (6; 16, 17; 22, 23), auf eine gemeinsame Ebene in der x-z-Ebene projiziert, unter einem Winkel zueinander orientiert sind, daß die mindestens drei in aufeinanderfolgenden Ebenen in y-Richtung gestapelten Laserdiodenarrays (9.1, 9.2, 9.3; 29.1, 29.2, 29.3) zu einer Einheit von k Laserdiodenarrays zusammengefaßt sind, wobei k eine positive, ganze Zahl ist und $3 \leq k \leq n$ gilt, und wobei dem ersten Laserdiodenarray der Einheit (9.1; 29.1; 39.1) das erste optische Element (1, 6; 15, 17; 22, 24) zugeordnet ist, dem zweiten Laserdiodenarray (9.3; 29.3; 39.3) das zweite optische Element der Einheit (3, 6; 15, 16, 17; 22, 23, 24, 25) zugeordnet ist und fortfolgend, bis dem $(k-1)$ -ten Laserdiodenarray das $(k-1)$ -te optische Element zugeordnet ist und die Elemente (1, 3, 6; 15, 16, 17; 22, 23, 24, 25) die

Strahlen an den Umlenkflächen (6; 16, 17; 22, 23) in eine im wesentlichen gemeinsame Abstrahlrichtung (13) umlenken, und das k -te Laserdiodenarray (9.2; 29.2; 39.2) direkt oder durch ein weiteres optisches Element umlenkungsfrei in der Abstrahlrichtung (13) abstrahlt, so daß die Strahlenanteile, zumindest in einer Abbildungsebene, zu einer im wesentlichen gemeinsamen Abstrahlrichtung zusammengefaßt werden, und daß sich die Folge der Ebenen in Bezug auf die Anordnung der jeweiligen Laserdiodenarrays (9.1, 9.2, 9.3; 29.1, 29.2, 29.3; 39.1, 39.2, 39.3) und deren zugeordneten jeweiligen optischen Elemente (1, 3, 6; 15, 16, 17; 22, 23, 24, 25) in y-Richtung oberhalb und/oder unterhalb der Einheit bei mehr als k Ebenen entsprechend der Folge der Ebenen der Einheit wiederholt.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Umlenkflächen (6; 16, 17; 23, 22) durch die Kanten von Prismenplatten (1, 3; 15; 24, 25) gebildet sind.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Prismenplatten (1, 3; 15; 24, 25) in den x-z-Ebenen die Form eines rechtwinkligen Dreiecks aufweisen.

4. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die die Strahlung umlenkenden Flächen (6; 16, 17; 22, 23) durch verspiegelte Flächen gebildet sind.

5. Anordnung zur Formung und Führung von Strahlung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung des k -ten Laserdiodenarrays (9.2; 29.2; 39.2) durch einen Freiraum (26) zwischen zwei benachbarten optischen Elementen geführt wird.

6. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung des k -ten Laserdiodenarrays (9.2; 29.2; 39.2) durch eine Rechteckplatte (2) hindurchführt.

7. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Elemente (1, 3, 6; 15, 16, 17; 22, 23, 24, 25) aus einem Block gebildet sind und die Freiräume (26) durch entsprechende Aussparungen in dem Block gebildet sind.

8. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Elemente (1, 3, 6; 15, 16, 17; 22, 23, 24, 25) jeweils aus einem oder mehreren Blöcken gebildet sind und die Strahlung des k -ten Laserdiodenarrays (9.2; 29.2; 39.2) umlenkungsfrei durch einen transmittierenden Bereich hindurchführt.

9. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Umlenkflächen (6; 16, 17; 22, 23) unter einem Winkel von etwa 90° zueinander orientiert sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

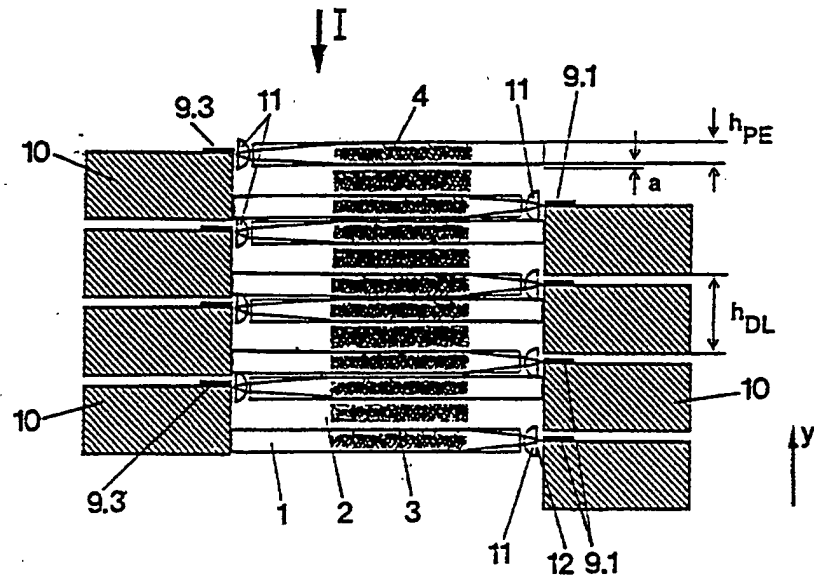


FIG. 1

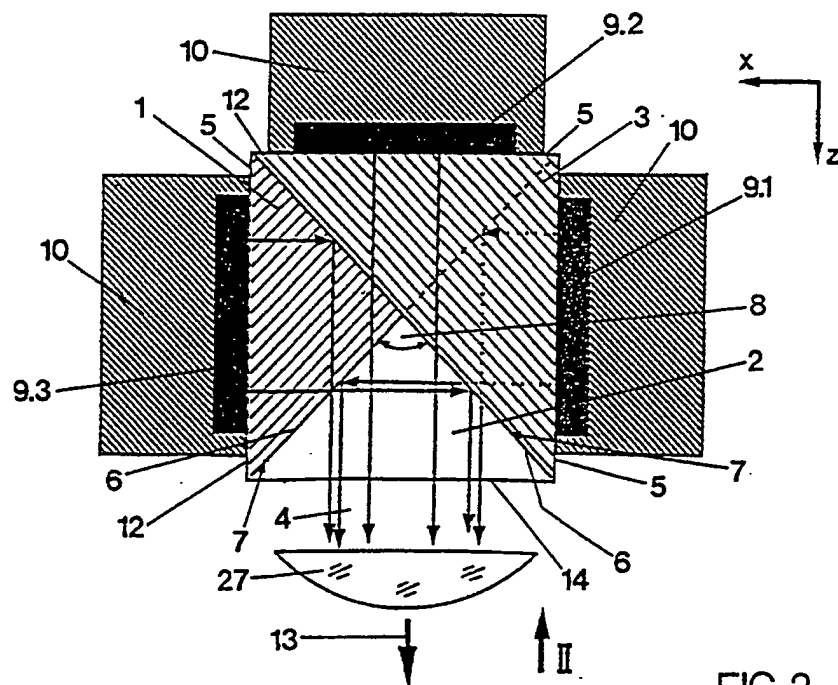


FIG. 2

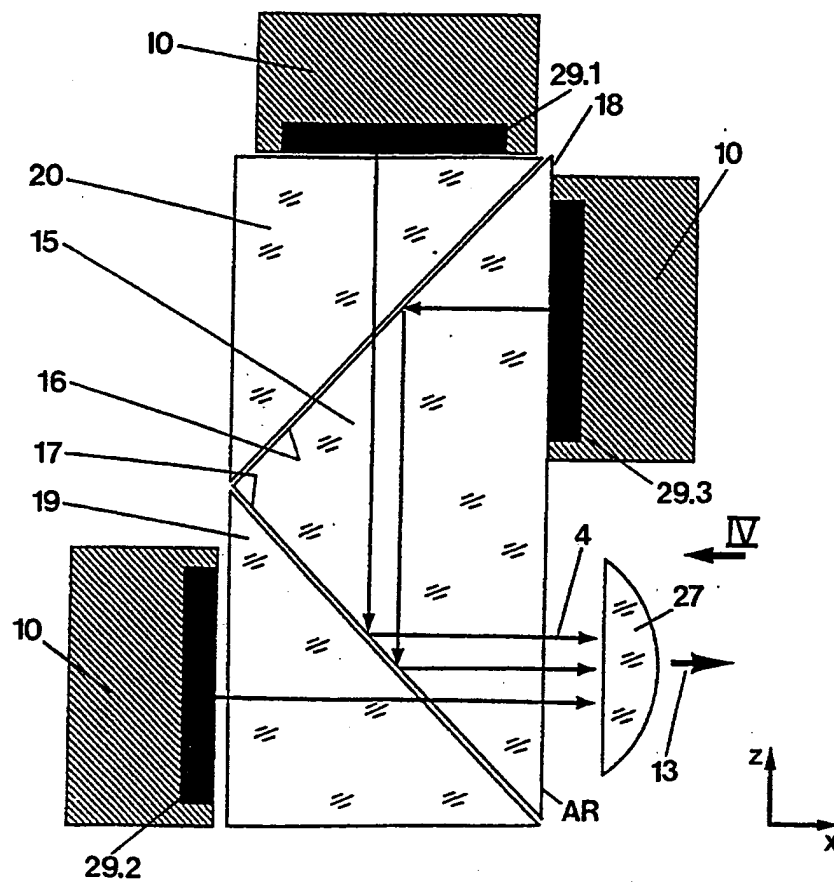


FIG. 3

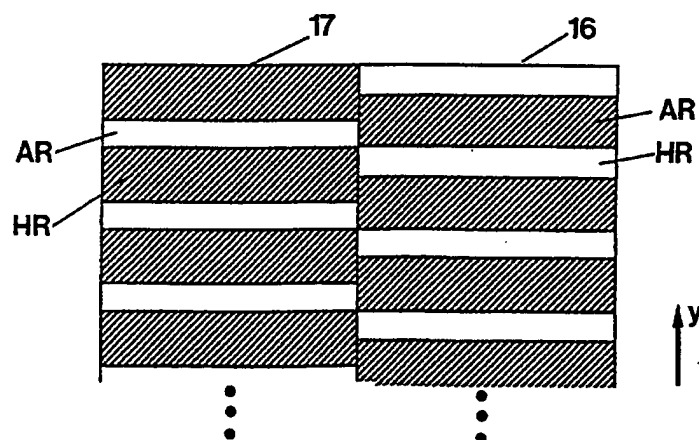


FIG. 4

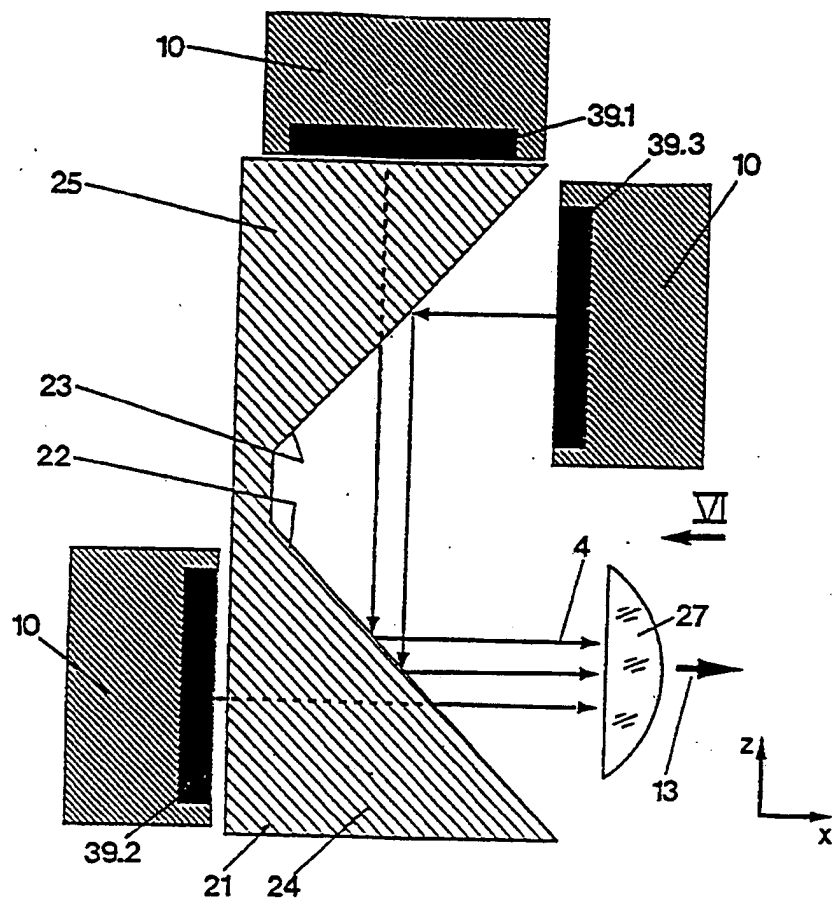


FIG. 5

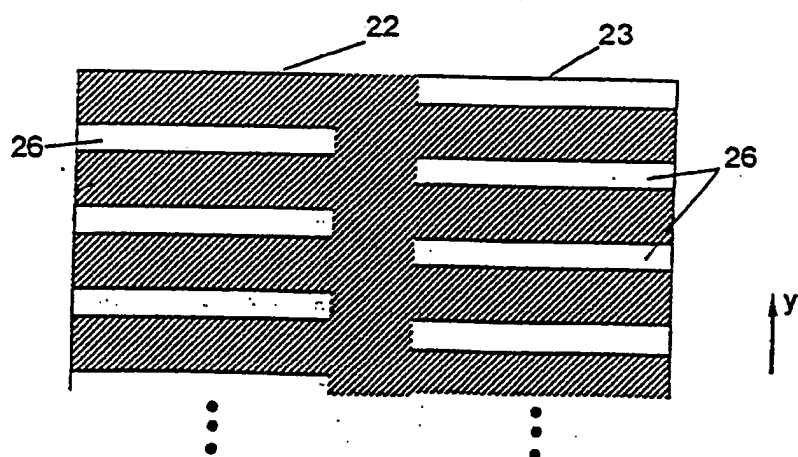


FIG. 6